

AVR1629 : XMEGA A/D変換器(ADC)過採取

要点

- 過採取によるATMEL® AVR® XMEGA® A/D変換器(ADC)分解能増加
- 平均化と間引き
- ATMEL XMEGA-A3BU Xplainキット用のATMEL AVR Studio® ASFとして実装されるソフトウェア
- ソースコードでの形態設定任意選択:
 - ・ 過採取によって達成される追加ビット数(分解能)の選択
 - ・ ADC入力ピン、ADC REF供給元、REF電圧のようなADC形態設定選択
- XMEGA-A3BU Xplainキットで利用可能LCDで表示される結果:
 - ・ 生ADC数値と計算された(Vでの)アナログ入力電圧を表示
 - ・ 比較のため、過採取と通常の両結果を表示

1. 序説

XMEGA制御器は12ビット分解能のA/D変換器を提供します。殆どの場合で12ビット分解能は充分ですが、いくつかの場合でより高い精度が求められます。測定の分解能を改善するために、特別な信号処理技術を使用することができます。'過採取と間引き'と呼ばれる方法を使用することによって、外部A/D変換器の使用なしでより高い分解能が達成できます。例えばXMEGAの12ビットA/D変換器を使用して、過採取技法で16ビットの結果を達成することができます。この応用記述はこの方法とこの方法を正しく動かすために履行されるべき必要とする条件を説明します。この応用記述はこの過採取技法を達成するために説明した理屈によるソースコードも提供します。

2. 動作の理屈

本章は過採取が全ての必要な数学的詳細と共にどう働くかを説明します。

2.1. 採取周波数

ナイキストの定理は「波形を正確に再構築するために、信号は信号の帯域幅の最低2倍より速く採取されなければならない、さもなければ重要な範囲(通過帯域)の内側の周波数で偽周波数になるでしょう」と述べています。必要とされる最低採取周波数は、ナイキストの定理に従う、ナイキスト周波数です。

$$\text{式2-1. ナイキスト周波数} \quad f_{\text{nyquist}} = 2 \times f_{\text{signal}}$$

ここで f_{signal} は入力信号内の関心がある最高周波数です。 f_{nyquist} より高い採取周波数は'過採取(オーバーサンプリング)'と呼ばれます。けれども、この採取周波数は正に理論上の絶対最低採取周波数です。実際問題として、使用者は時間の領域に於いて、測定した信号の可能な最良の標本を与えるために、可能な最高の採取周波数であればよいと思います。殆どの場合で入力信号は既に過採取されていると言えます。

採取周波数はCPUクロックの前置分周の結果で、より低い前置分周係数がより高いA/D変換クロック周波数を与えます。或る点で、より高いA/D変換クロックは実効ビット数(ENOB: Effective Number Of Bits)が低下するために変換の精度を減らします。全てのA/D変換器は帯域幅制限を持ちます。ATMEL XMEGA A系デバイスについて、変換結果で12ビット分解能を得るため、A/D変換クロック周波数は最大2MHzであるべきです。A/D変換クロックが2MHzの時に採取周波数は2M採取/秒(SPS)で、そしてそれは採取信号内の高い周波数を約1MHzに制限します。

2.2. 過採取と間引き

この技法はより多くの採取量が必要です。これらの追加採取は信号の過採取によって成し遂げられます。分解能の各追加ビット(n)に対して、信号は4回採取されなければなりません。どの周波数で信号が共に採取されるかは式2-2.で与えられます。平均した時により多くの採取量が入力信号のより良い標本を与えるので、アナログ入力信号の可能な最良の標本を得るために、これだけは信号を過採取する必要があります。これは本応用記述の主要要素として考慮され、後述する理論と例によって更に説明されるでしょう。

$$\text{式2-2. 過多採取周波数} \quad f_{\text{oversampling}} = 4^n \times f_{\text{nyquist}}$$



8ビット ATMEL
マイクロコントローラ

応用記述

本書は一般の方々の便宜のため有志により作成されたもので、ATMEL社とは無関係であることを御承知ください。しおりのはじめにでの内容にご注意ください。

Rev. 8498A-03/12, 8498AJ1-03/14



2.3. 雑音

この方法を正しく動かすには、関心のある信号成分が変換の間に変化すべきではありません。けれども、分解能増強の成功に対する別の基準は、採取時に入力信号が変化しなければならないことです。これは矛盾するように思えるかもしれませんが、この場合の偏移はほんの数LSBを意味します。変化は信号の雑音成分として見られるべきです。信号の過採取時、信号内の小さな変化のその求めに応じるために雑音があるべきです。A/D変換器の量子化誤差は少なくとも0.5LSBです。従って、雑音振幅はLSBを交互するのに0.5LSBを越えなければなりません。1~2LSBの雑音振幅は、多数の採取が全く同じ値にならないことを保証するでしょうから、ずっと良くなります。

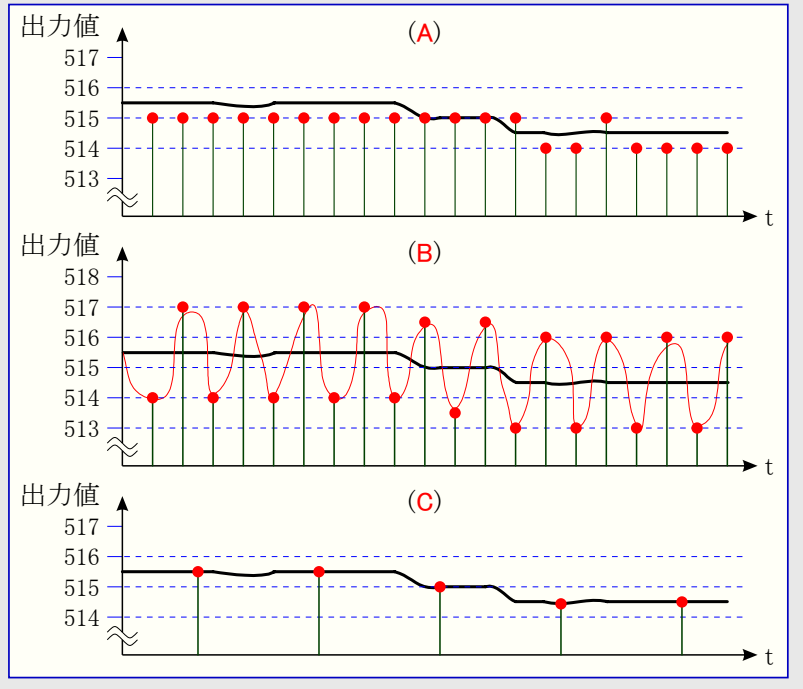
間引き技法使用時の雑音に関する基準は以下です。

- ・ 関心のある信号成分は変換の間に意味なく変化すべきではありません。
- ・ 信号内に或る程度の雑音が存在すべきです。
- ・ 雑音の振幅は少なくとも1LSBであるべきです。

普通、変換の間に或る程度の雑音が存在するでしょう。その雑音は熱雑音、CPUコアからの雑音、I/Oポート切り替え、電源の変動、その他で有り得ます。この雑音は殆どの場合でこの方法を動かすのに充分でしょう。特殊な条件によっては、或る程度の人為的な雑音を入力信号に加える必要があるかもしれません。この方法は'デザリング(身震い)'として判断されます。図2-1のAは2つの量子化段階間の電圧値での信号測定の問題を示します。同じ低調な値が結果になるので、4つの採取の平均は助けにならないでしょう。それは信号変動を減じるのを助けるだけかもしれません。図2-1のBは或る程度の人為的な雑音を加えることにより、変換結果のLSBが交互することを示します。図2-1のCで示されるように、それらの採取の4つを加算することが量子化段階を不完全にし、より良い入力値の標本を与える結果を生みます。A/D変換器の'仮想分解能'は10ビットから11ビットに増します。この方法は'間引き'として判断され、2.4.項で更に説明されるでしょう。

この方法を使用する別な理由は信号対雑音(S/N)比を増すことです。実効ビット数(ENOB)の増強は、より大きな2進数で雑音を撒き散らすでしょう。各2進桁で影響する雑音は減るでしょう。採取周波数を2倍にすることは帯域内雑音を3dB下げ、測定分解能を0.5ビット増やすでしょう。

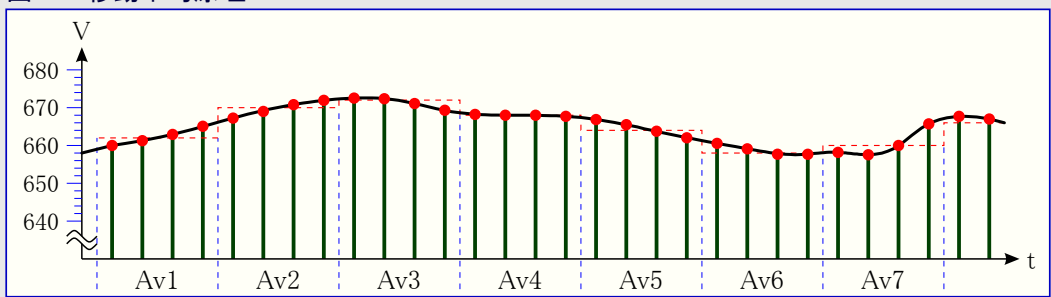
図2-1. 10ビットから11ビットへの分解能増加



2.4. 平均化

伝統的な平均化の意味は m 採取に増やして結果を m で割ることで、これは一般的な平均化として参照されます。A/D変換測定からのデータ平均化は低域通過濾波器(ローパスフィルタ)と等価で、信号変動や雑音を低減する利点を持ち、入力信号内の頂点を平らにします。移動平均法はこれを行うのに非常によく使用されます。これは m 回読み取り、それらを循環キュー内に置き、最終 m 個の平均を意味します。これは各採取が最終 m 採取の結果なので僅かな遅延時間を与えます。これは m 窓の重複ありまたはなしで行えます。図2-2は m 窓重複なしでの7つの個別移動平均結果(Av1~Av7)を示します。

図2-2. 移動平均原理



一般的な平均が変換の結果を増やさないのを覚えて置くことが大事です。間引きまたは内部補間は過採取と組み合わせた平均化の方法で、それは分解能を増やします。

追加の採取(数) m は丁度通常平均化でのように、過採取する信号の追加によって成し遂げられますが、その結果は通常平均化のように m で除算されません。代わりに結果は n 回右シフトされます。ここで n は答えを正しく尺度調整するための求められた分解能の追加ビット数です。2進数を1回右シフトすることは2の除数で2進数を除算するのと当価です。

式2-2.で見られるように、12ビットから16ビットへの分解能増加(即ち分解能4ビット追加)は 4^4 で256個の12ビット値の総和を必要とします。256個の12ビット値の合計は、最後の4ビットが価値ある情報を期待できない、20ビットの結果を生成します。

16ビット表現に'戻す'にはその結果を尺度調整する必要があります。式2-3.で与えられる尺度係数 sf は、結果を正しく尺度補正するために、 4^n 採取の合計が除算されるべき係数です。 n は望む追加ビット数です。

$$\text{式2-3.} \quad sf = 2^n$$

上の場合(12ビットから16ビットへの分解能増加)で説明されるように、尺度係数 sf は 2^4 で、それは16と等価です。

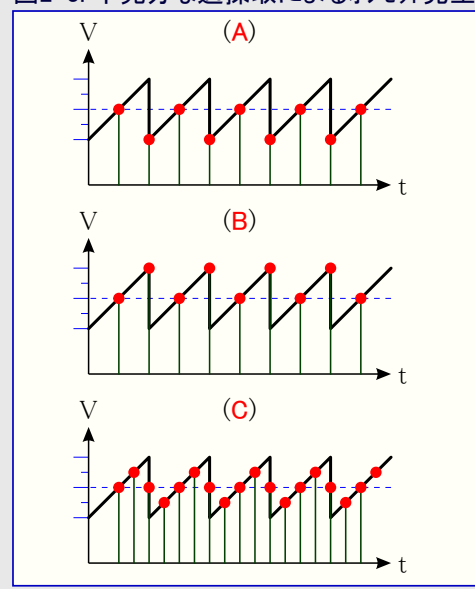
2.5. '過採取と間引き'は何時動くのか?

通常、信号は或る程度の雑音を含み、この雑音はかなり度々ガウス雑音(もっと共通的には広い周波数スペクトル、周波数範囲全体に渡って分割されたものに等しい総エネルギーで認識される、白色雑音(ホワイトノイズ)または熱雑音として知られる)の特性を持ちます。これらの場合では、雑音の振幅がA/D変換のLSBを交互するのに充分であれば、'過採取と間引き'の方法は動くでしょう。

他の場合では、入力信号に人為的な雑音を加える必要があるかもしれず、この方法はデイヤリング(微振動)と判断されます。この雑音の波形はガウス雑音であるべきですが、周期的な波形でも動くでしょう。この雑音信号がどの周波数であるべきかは採取周波数に依存します。経験則は" m 採取増加時、雑音信号周期は m 採取の周期を越えるべきではない"です。雑音の振幅は少なくとも1LSBであるべきです。信号に人為的な雑音を追加するとき、雑音が0の値を意味するのを覚えて置くことが重要で、従って不十分な過採取は図2-3.で示されるようにオフセットを生じるかもしれません。

破線は鋸波の平均値を描きます。図2-3.のAは負のオフセットを生じます。図2-3.のBは正のオフセットを生じます。図2-3.のCでは採取が充分で、オフセットが避けられます。人為的な雑音信号を作成するのに、AVRのタイマ/カウンタの1つが使えます。タイマ/カウンタとA/D変換器が同じクロック元を使用するため、これは雑音同期の可能性とオフセットを避けるための採取周波数を与えます。

図2-3. 不十分な過採取によるオフセット発生



3. ソースコード

過採取ソフトウェアはATMEL AVR Studio ASFでの例プロジェクトとして実装されています。ASFプロジェクト名は“ADC Oversampling Demo application for Atmel XMEGA-A3BU Xplained”です。

本章は過採取実演応用がどう動くかと、各種過採取レベルを得るのに各種形態設定パラメータがどう変更されるべきかも説明します。

A/D変換器変位(オフセット)誤差修正がソースコードで準備されています。使用者はデバイス間で変わる利得誤差修正の形態設定について備えなければなりません。詳細は**形態設定項**で与えられます。

ソフトウェアで使用される変数、関数、マクロなどでの完全な詳細について、使用者はこの実演応用に対するASFヘルプを調べることができます。

3.1. 過採取実演プロジェクトがどう動くか

過採取実演プロジェクトはXMEGA-A3BU Xplainキットに対して準備されて検査されています。XMEGA-A3BU Xplainキットについてのより多くの詳細に関して、使用者はATMELの「[AVR1923:XMEGA-A3BU Xplainハードウェア使用者の手引き](#)」応用記述を参照することができます。

目的対象デバイスのATMEL ATxmega256A3BUからのADCBが入力信号の採取に使用され、A/D変換器(ADC)は符号付き差動、12ビット分解能、150Ksps、AREFBピンでの外部基準電圧で形態設定されています。

ADC初期化中、同様のADC形態設定でADC変位(オフセット)誤差が計算され、それは入力信号採取に使用されます。この変位値を使用することにより、変位誤差修正は走行時に各採取読み込みで行われます。ここで使用者は、目的対象通電中にAREFBピンで基準電圧が存在するべきであることに注意しなければなりません。さもなければ、測定した読み取り値は不正な変位誤差修正のために正確でないでしょう。これが起きた場合、使用者はAREFB基準電圧ピンを維持することによって目的基板への電力を切断/接続することができます。

変位誤差修正後、ADCBは入力信号を採取して過採取処理を開始するために連続変換(自由走行)動作に形態設定されます。

3.1.1. 過採取形態設定

過採取実演ASFプロジェクトからsrc¥configフォルダ下の'conf_oversampling.h'ヘッダファイルを参照してください。

ここで、使用されるべき過採取のレベルを選ぶことができます。例えば、12ビット分解能から16ビット分解能または12ビットから14ビットへの増加などです。各形態設定項目の変更方法の詳細に関しては、各形態設定パラメータに対する注釈としてソースコードそれ自体で与えられます。

形態設定任意選択は以下に対して提供されています。

- ・ 外部アナログ信号の正入力を供給するのにアナログピンが使用されます。例えばPIN1(即ち、ADCB用のPB1)
- ・ 外部アナログ信号の負入力を供給するのにアナログピンが使用されます。例えばPIN2(即ち、ADCB用のPB2)
- ・ 基準電圧供給元
- ・ μ Vでの基準電圧値

3.1.2. 実演プロジェクトでの動作開始方法

'conf_oversampling.h'で作られた既定形態設定の過採取実演プロジェクトで動作を開始するために、ここで記述されるようにATMEL XMEGA-A3BU Xplainキットでハードウェア接続を行わなければなりません。

- ・ 2.5V基準電圧をJ2ヘッダの(ADC0と記された)1番ピンに接続してください。
- ・ (差動動作で測定されなければならない)外部アナログ信号の正入力をJ2ヘッダの(ADC1と記された)2番ピンに接続してください。
- ・ 外部アナログ信号の負入力をJ2ヘッダの(ADC2と記された)3番ピンに接続してください。

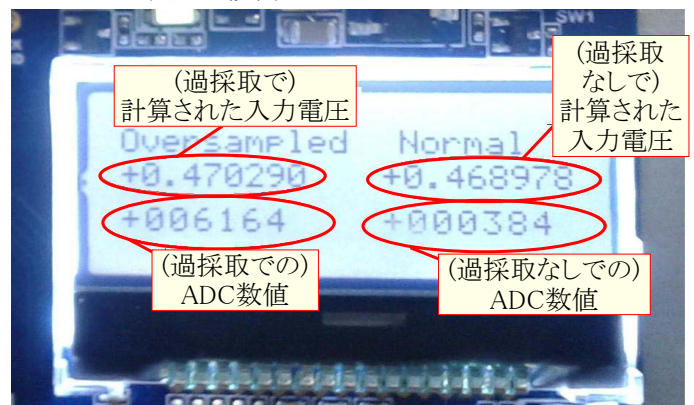
必要なハードウェア構成設定作成後、ASFからATMEL XMEGA ADC過採取実演プロジェクトのhexファイルを構築してダウンロード(デバイス書き込み)することができます。

3.1.3. LCDでの結果表示

結果はXMEGA-A3BU Xplainキットで利用可能なLCD上に表示されます。より良い理解と比較のために、過採取された結果と単一採取(即ち、過採取なし)の結果もLCD上に表示されます。ADC数値と(Vでの)計算されたアナログ入力電圧の両方が表示されます。

LCD表示の撮影画面が**図3-1**で示されます。**図3-1**では、どんな異なる内容があるかを説明するように記されています。

図3-1. LCD表示の複製



4. 推奨読み物

ATMEL XMEGAのA/D変換器(ADC)と過採取の理屈でより多くの知識を得るため、以下の応用記述を読むことが推奨されます。

この下にはATMELの以下のウェブサイトのリンクから入手可能な、一覧にした応用記述と他のXMEGAに関連するソースコード付き応用記述があります。

http://atmel.com/dyn/products/product_docs.asp?category_id=163&family_id=607&subfamily_id=1965&part_id=4308

- **AVR120:AVRのA/D変換器の特性付けと校正**。この応用記述はデータシートで与えられる様々なADC特性パラメータとそれらが測定にどう影響するかを説明します。
- **AVR1300:ATMEL AVR XMEGA A/D変換器(ADC)の使い方**。この応用記述は素早く立ち上げて動かすためのコード例と共にXMEGA ADCの基本的な機能を記述します。
- **AVR1505:XMEGA練習 - A/D変換器(ADC)**。この応用記述は素早く立ち上げて動かすためのATMEL ATxmega128A1マイクロコントローラが特徴のAVR Xplain評価キットから、ADCを使う方法の練習資料です。
- **AVR042:ハードウェア設計の考察**。この応用記述は電源設計で出会う問題と他の物理的な設計問題の殆どを網羅します。この応用記述は次のリンク、http://atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2521.pdf から入手可能です。
- **AVR1923:XMEGA-A3BU Xplainハードウェア使用者の手引き**。これはXMEGA-A3BU Xplainキットで作業を開始するためのハードウェア使用者の手引きです。この応用記述は次のリンク、<http://www.atmel.com/tools/XMEGA-A3BUXPLAINED.aspx?tab=documents> から入手可能です。

5. 資産

- ATMEL XMEGA手引書とデータシート : <http://www.atmel.com/xmega>
- ATMEL AVR Studio 5 : <http://www.atmel.com/avrstudio>
- IAR Embedded Workbench[®]コンパイラ : <http://www.iar.com/>

6. ATMEL技術支援センター

ATMELは利用可能な各種支援経路を持ちます。

- ウェブ入口 : <http://support.atmel.no/> 全てのATMELマイクロコントローラ
- Eメール : avr@atmel.com 全てのATMEL AVR製品
- Eメール : avr32@atmel.com 全ての32ビットAVR製品

以下のサービスへのアクセスを得るためにウェブ入口で登録をしてください。

- 豊富なFAQデータベースへのアクセス
- 技術支援要求の容易な依頼
- あなたの過去の全ての支援要求の履歴
- ATMELマイクロコントローラ速報を受け取るための登録
- 利用可能な練習と練習材料についての情報の取得

7. 目次

| | |
|--------------------------------------|---|
| 要点 | 1 |
| 1. 序説 | 1 |
| 2. 動作の理屈 | 1 |
| 2.1. 採取周波数 | 1 |
| 2.2. 過採取と間引き | 1 |
| 2.3. 雑音 | 2 |
| 2.4. 平均化 | 3 |
| 2.5. '過採取と間引き'は何時動くのか? | 3 |
| 3. ソースコード | 4 |
| 3.1. 過採取実演プロジェクトがどう動くか | 4 |
| 3.1.1. 過採取形態設定 | 4 |
| 3.1.2. 実演プロジェクトでの動作開始方法 | 4 |
| 3.1.3. LCDでの結果表示 | 4 |
| 4. 推奨読み物 | 5 |
| 5. 資産 | 5 |
| 6. ATMEL技術支援センター | 5 |
| 7. 目次 | 5 |



Atmel Corporation

2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
USA
TEL (+1)(408) 441-0311
FAX (+1)(408) 487-2600
www.atmel.com

Atmel Asia Limited

Unit 01-5 & 16, 19F
BEA Tower, Millennium City 5
418 Kwun Tong Road
Kwun Tong, Kowloon
HONG KONG
TEL (+852) 2245-6100
FAX (+852) 2722-1369

Atmel Munich GmbH

Business Campus
Parking 4
D-85748 Garching b. Munich
GERMANY
TEL (+49) 89-31970-0
FAX (+49) 89-3194621

Atmel Japan

141-0032 東京都品川区
大崎1-6-4
新大崎勸業ビル 16F
アトメル ジャパン合同会社
TEL (+81)(3)-6417-0300
FAX (+81)(3)-6417-0370

© 2012 Atmel Corporation. 全権利予約済

ATMEL[®]、ATMELロゴとそれらの組み合わせ、それとAVR[®]、AVR Studio[®]、XMEGA[®]とその他はATMEL Corporationの登録商標または商標またはその付属物です。他の用語と製品名は一般的に他の商標です。

お断り: 本資料内の情報はATMEL製品と関連して提供されています。本資料またはATMEL製品の販売と関連して承諾される何れの知的所有権も禁反言あるいはその逆によって明示的または暗示的に承諾されるものではありません。ATMELのウェブサイトに位置する販売の条件とATMELの定義での詳しい説明を除いて、商品性、特定目的に関する適合性、または適法性の暗黙保証に制限せず、ATMELはそれらを含むその製品に関連する暗示的、明示的または法令による如何なる保証も否認し、何ら責任がないと認識します。たとえATMELがそのような損害賠償の可能性を進言されたとしても、本資料を使用できない、または使用以外で発生する(情報の損失、事業中断、または利益と損失に関する制限なしの損害賠償を含み)直接、間接、必然、偶然、特別、または付随して起こる如何なる損害賠償に対しても決してATMELに責任がないでしょう。ATMELは本資料の内容の正確さまたは完全性に関して断言または保証を行わず、予告なしでいつでも製品内容と仕様の変更を行う権利を保留します。ATMELはここに含まれた情報を更新することに対してどんな公約も行いません。特に別の方法で提供されなければ、ATMEL製品は車載応用に対して適当ではなく、使用されるべきではありません。ATMEL製品は延命または生命維持を意図した応用での部品としての使用に対して意図、認定、または保証されません。

© HERO 2014.

本応用記述はATMELのAVR1629応用記述(doc8498.pdf Rev.8498A-03/12)の翻訳日本語版です。日本語では不自然となる重複する形容表現は省略されている場合があります。日本語では難解となる表現は大幅に意識されている部分もあります。必要に応じて一部加筆されています。頁割の変更により、原本より頁数が少なくなっています。

必要と思われる部分には()内に英語表記や略称などを残す形で表記しています。

青字の部分はリンクとなっています。一般的に赤字の0,1は論理0,1を表します。その他の赤字は重要な部分を表します。